

# 荒漠昆虫天花吉丁虫的呼吸及体内水分损失特征

宋 菁<sup>1,2</sup>, 吕昭智<sup>1,\*</sup>, 王登元<sup>2</sup>, 吴文岳<sup>1</sup>, 苏延乐<sup>1</sup>, 王 晶<sup>1</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 为研究荒漠地区昆虫的呼吸及水分损失特征, 以专性寄生在荒漠植物梭梭上的天花吉丁虫 *Julodis variolaris* Pallas 为对象, 采用 LI-6400 光合分析仪测定在 20℃ 下天花吉丁虫的呼吸量, 并采用重量法测定了不同温度下其水分散失率。结果表明: 天花吉丁虫呼吸为典型的不连续气体交换循环 (discontinuous gas exchange cycle, DGC) 的模式, DGC 平均周期约需 12.96 min, 爆发间期历时平均约占整个 DGC 历时的 80%, CO<sub>2</sub> 平均释放率为 23.45 μL/min。在 25℃、30℃、35℃ 和 40℃ 恒温条件下, 单位时间内水分散失随温度升高而增加, 10 h 内 25℃ 和 30℃ 之间的水分损失率无显著差异, 但 25℃ 和 30℃ 与 35℃、40℃ 之间的水分损失率具有显著性差异; 10~24 h 内 25℃、30℃、35℃ 之间的水分损失率具有显著性差异。荒漠昆虫天花吉丁虫在高温下的高脱水率和高死亡率说明, 其在没有水分来源的情况下很难存活, 而不连续呼吸模式是其适应高温干旱环境的对策之一。

**关键词:** 天花吉丁虫; 呼吸; 不连续气体交换循环; 水分损失

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2008)02-0132-05

## Respiration and water-loss characteristics in a desert insect *Julodis variolaris* Pallas (Coleoptera: Buprestidae)

SONG Jing<sup>1,2</sup>, LU Zhao-Zhi<sup>1,\*</sup>, WANG Deng-Yuan<sup>2</sup>, WU Wen-Yue<sup>2</sup>, SU Yan-Le<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>1</sup> (1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 8300112, China; 2. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** To explore the respiration and water-loss of desert insects, respiration of a desert insect *Julodis variolaris* Pallas specially infesting on *Haloxylon ammodendron* at 20℃ was measured with LI-6400 Portable Photosynthesis System, and the rates of water-loss at different temperatures from 25℃ to 40℃ were determined by measuring weight loss. The results indicated that *J. variolaris* respired in the typically discontinuous gas exchange cycle (DGC). The DGC duration was about 12.96 min, of which the proportion of interburst duration was about 80%, and the CO<sub>2</sub> release rate was 23.45 μL/min. With the temperature increasing, the rates of water-loss were augmented at the constant temperatures of 25℃, 30℃, 35℃ and 40℃. Within 10 h, there was no difference in water-loss rate between at 25℃ and at 30℃, but the rates of water-loss between at 25℃ and 30℃ and at 35℃ and 40℃ differed significantly; from 10 h to 24 h, the rates of water-loss were significant different between at 25℃, 30℃ and 35℃. The high rates of water-loss and mortality of the desert insect *J. variolaris* at high temperature suggested that it could not survive without water source. The DGC mode of respiration is one of the strategies for its survival in high temperature and aridity.

**Key words:** *Julodis variolaris*; respiration; discontinuous gas exchange cycle; water-loss

水分散失包括表皮失水、呼吸失水和分泌失水 3 种方式 (Hadley, 1994a)。影响水分散失的因素包括种类、栖息条件、温度、湿度和风速等 (Edney, 1977; Cloudsey-Thompson, 1988; Hadley, 1994a)。水

分散失是生物水分平衡的重要方面, 是沙漠地区生物环境适应性的指标。

呼吸失水是昆虫水分代谢的重要部分, 一般占水分散失的一少部分, 通常 < 5% (Quinlan and

基金项目: 中国科学院“西部之光”东西部联合学者计划 (LHXZ200603)

作者简介: 宋菁, 女, 1982 年 5 月生, 辽宁沈阳人, 动物学专业硕士研究生, E-mail: songjing\_2005@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zhaozhi@ms.xjbu.ac.cn

收稿日期 Received: 2007-07-24; 接受日期 Accepted: 2007-12-20

Lighton, 1999) 荒漠昆虫减少水分散失方式与昆虫呼吸方式密切相关。昆虫的呼吸主要有连续和不连续呼吸( discontinuous gas exchange cycles, DGC ) 2 种方式, DGC 模式是一种进化的方式, 可以减少对水分的散失; DGC 包括三个阶段: 关闭阶段( close period, C 阶段)、颤动阶段( flutter period, F 阶段)、开放阶段( open period, O 阶段), 其中开放阶段是呼吸失水的主要阶段( Quinlan and Lighton, 1999)。荒漠地区的一些甲虫具有这种 DGC 的呼吸模式, 在拟步甲 *Onymacris plana*、*O. unguicularis*、*Pimelia grandis* ( Bartholomew *et al.*, 1985; Lighton, 1991; Duncan *et al.*, 2002), 金龟甲 *Scarabaeus westwoodi*、*S. striatum*、*Circellium bacchus* ( Davis *et al.*, 1999; Duncan and Byrne, 2002) 类群中已有报道。

天花吉丁虫 *Julodis variolaris* Pallas 分布于乌孜别克斯坦、土库曼斯坦和哈萨克斯坦、伊朗等国家的荒漠区域, 在中国主要分布于新疆的准噶尔盆地和甘肃地区, 专性寄生在荒漠植物梭梭上, 取食寄主叶片。新疆为典型的温带内陆荒漠, 年降水量 164 mm, 年蒸发量 2 000 mm 左右。夏天荒漠最高大气温度为 42.6℃, 温度日较差为 15~20℃( 黄人鑫, 2005)。水分是荒漠地区生物分布和生存关键生态因子, 同时呼吸代谢是重要的生理过程。关于荒漠昆虫水分和能量代谢研究比较少, 特别是北温带半固定的沙漠地区。本实验以天花吉丁虫作研究对象, 探讨以下问题: (1) 温度对水分散失如何影响; (2) 呼吸方式是否为节水的非连续呼吸。旨在为进一步探索昆虫对干旱区极端环境的适应性研究提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

天花吉丁虫于 2006 年 6 月采自新疆阜康荒漠地区梭梭林区( N44°19', E88°07' ), 在室温 20℃、相对湿度 40%~45% 和光周期 12L:12D 条件下, 采用新鲜的梭梭枝叶饲养。

### 1.2 呼吸特征参数测定

昆虫禁食 12 h 后供试, 万分之一电子天平( Chyo Banlance Corporation, Kyoto Japan, 精度  $\pm 0.01$  mg) 称虫重后, 小心放入 6400-05 呼吸室内, 用黑布罩住叶室, 以保证供试昆虫保持静止状态( Lighton, 1991)。采用 LI-6400 光合分析仪( LI-COR, USA, 灵敏度  $< 0.1$  ppm) 测定呼吸释放的  $\text{CO}_2$  含量。采用碱

石灰和干燥剂(  $\text{CaSO}_4$  ) 过滤空气所含的  $\text{CO}_2$  和水蒸气, 控制进气流速为 100  $\mu\text{L}/\text{min}$  ( Duncan *et al.*, 2002b), 呼吸室温度控制为 20℃, 气流和温度通过仪器自动控制。供试昆虫静置 30 min 后开始记录数据, 设定测定时间为 2 h, 测定间隔为 2 s, 呼吸数据自动记录到仪器记录器中。

### 1.3 体内水分损失的测定

采用 DHP-500 型电热恒温培养箱( 北京市永光明医疗仪器厂) 控制恒温环境, 试验温度分别为 25℃、30℃、35℃ 和 40℃, 在培养箱内放入干燥剂  $\text{CaCl}_2$  250 g, 吸收蒸发的水分。控制培养箱内湿度为 50%, 每个温度梯度下昆虫重复为 15 头。试验前禁食 12 h 后, 用电子天平称重后将试虫单个放入 100 mL 的烧杯中, 置于不同温度条件下监测 10 h, 每 2 h 称重一次, 监测水分在不同温度下不同时间的水分变化。

每次测量结束后继续放入培养箱内处理至 24 h。试验结束再称重。24 h 后置于烘干箱内, 60℃ 烘干 3 天, 恒重后记录体重, 即为干重。

### 1.4 计算与分析

利用 LI-6400 记录的数据作呼吸释放  $\text{CO}_2$  的响应曲线, 然后对相应曲线求积分得到所选时间(  $t$  ) 段内样虫呼吸释放  $\text{CO}_2$  的总体积(  $V$  ) ( Duncan *et al.*, 2002b)。  $\text{CO}_2$  平均释放速率  $R_{\text{CO}_2}$  (  $\mu\text{L}/\text{min}$  ) =  $V/t$ 。单位体重  $\text{CO}_2$  平均释放速率  $RM_{\text{CO}_2}$  (  $\mu\text{L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  ) =  $R_{\text{CO}_2}/M$ 。式中:  $V$  为样虫释放  $\text{CO}_2$  总体积(  $\mu\text{L}$  ),  $t$  为时间(  $\text{s}$  ),  $M$  为试虫体重(  $\text{g}$  )。

代谢速率  $SMR$  以能量单位  $\text{W}/\text{kg}$  计量。当呼吸商( respiratory quotient,  $RQ$  ) 为 0.8 时, 代谢所消耗的能量等价于 24.5  $\text{J}/\text{mLCO}_2$  ( Duncan and Dick, 2001; Duncan *et al.*, 2002b), 计算公式为  $SMR$  (  $\text{W}/\text{kg}$  ) =  $24.5 V/tM = 0.4083 \times RM_{\text{CO}_2}$ 。

数据分析采用 SPSS( Version 11.5 ) 统计软件, 采用单因子( one-way ANOVA ) 分析不同温度处理对试虫脱水的影响; 若温度处理之间存在显著性差异, 采用 Tukey's HSD 的方法比较各个温度之间差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 呼吸特征

天花吉丁虫为典型的非连续气体交换循环

(DGC)呼吸模式(图1),但其DGC呼吸的C、F阶段不明显,所以天花吉丁虫爆发间期包括C、F阶段。表1为具体DGC呼吸过程的特征参数。20℃时,天花吉丁虫DGC周期为12.96 min,在整个循环周期中,气孔可在 $10.28 \pm 0.53$  min内保持关闭或微张状态。

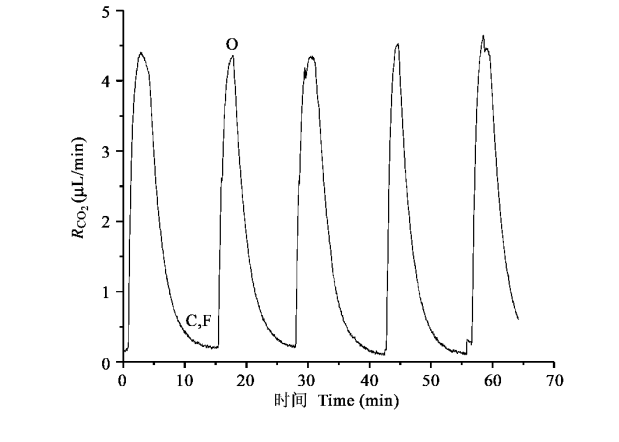


图1 20℃下天花吉丁虫DGC呼吸时CO<sub>2</sub>释放率  
Fig. 1 CO<sub>2</sub> release rate in DGC in *Julodis variolaris* at 20℃  
C: 关闭阶段 Close period; F: 颤动阶段 Flutter period;  
O: 开放阶段 Open period.

表1 天花吉丁虫DGC呼吸特征参数 (n = 12)	
Table 1 Respiratory characteristics of DGC in <i>Julodis variolaris</i> (n = 12)	
变量 Variables	平均值 Average (mean ± SE)
体重 Mass( M g)	1.19 ± 0.16
DGC 历时 DGCD ( min )	12.96 ± 0.68
DGC 频率 FDGC( mHz )	1.4 ± 0.08
爆发间期历时 IBD ( min )	10.28 ± 0.53
开放阶段历时 OD ( min )	2.68 ± 0.22
K = IBD/DGCD	0.8 ± 0.05
CO <sub>2</sub> 平均释放速率 R <sub>CO<sub>2</sub></sub> ( μL/min )	23.45 ± 0.94
单位体重 CO <sub>2</sub> 平均释放速率 RM <sub>CO<sub>2</sub></sub> ( μL·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> )	20.44 ± 0.88
代谢率 SMR( W/kg )	8.35 ± 0.36

DGCD : DGC duration ; FDGC : DGC frequency ; IBD : Interburst duration ; OD : Open period duration ; R<sub>CO<sub>2</sub></sub> : Average rate of CO<sub>2</sub> emission ; RM<sub>CO<sub>2</sub></sub> : Emission rate of CO<sub>2</sub> per body weight ; SMR : Standard metabolic rate ; 下同 The same below .

从表2可知,天花吉丁虫爆发间期历时与DGC历时呈显著正相关( $P < 0.001$ ),O阶段与DGC历时关系不显著( $P > 0.05$ ).  $RM_{CO_2}$ 与体重M之间存在极显著的负相关关系( $P < 0.05$ ), $R_{CO_2}$ 与M之间有显著的负相关关系( $P < 0.05$ ).

表2 天花吉丁虫DGC呼吸参数之间的关系 Table 2 The relationship between the DGC parameters of <i>Julodis variolaris</i>			
参数 Parameter	回归方程 Regression equation	r	P
IBD-DGCD	IBD = - 1.324 + 0.908DGCD	0.866	0.001
OD-DGCD	OD = 1.324 + 0.092DGCD	0.063	0.108
R <sub>CO<sub>2</sub></sub> -M	R <sub>CO<sub>2</sub></sub> = 14.64 - 6.27M	0.16	0.05
RM <sub>CO<sub>2</sub></sub> -M	RM <sub>CO<sub>2</sub></sub> = 20.42 - 11.91M	0.52	0.001

### 2.2 温度对体内水分散失的影响

10 h内,35℃、40℃分别与25℃、30℃条件下的LOSS%之间存在显著性差异( $df = 14, P < 0.05$ ),在25℃与30℃条件下,水分散失率无显著性差异, ( $df = 14, P < 0.05$ );35℃与40℃条件下,在前2 h时水分散失率无显著性差异( $df = 14, P > 0.05$ )A~10 h时水分散失率呈显著性差异( $df = 14, P < 0.05$ );而10~24 h内,25℃、30℃、35℃条件下的水分散失率之间呈显著性差异( $df = 14, P < 0.05$ ),40℃时,10 h内体重损失率平均达10.06%,24 h内试虫80%以上死亡。从表3和图2可以看出,温度与虫体水分散失呈正相关。

表3 天花吉丁虫水分损失率随时间变化的回归方程 Table 3 Regression equations of water-loss rates vs time for <i>Julodis variolaris</i>			
温度(℃) Temperature	回归方程 Regression equation	R	P
25	LOSS% = 0.274h + 0.17	0.63	< 0.001
30	LOSS% = 0.353h + 0.234	0.82	< 0.001
35	LOSS% = 0.625h + 1.014	0.82	< 0.001
40	LOSS% = 0.577h + 1.402	0.78	< 0.001

## 3 讨论

传统测定昆虫呼吸代谢的常用仪器为华勃氏呼吸仪,操作方便,但由于O<sub>2</sub>浓度下降或CO<sub>2</sub>不能完全被NaOH吸收,都会影响昆虫的呼吸代谢测定(戈峰,1991)。近年来红外线气体分析技术的发展极大提高了气体测量的灵敏度和稳定性,解决了传统方法的局限性。目前在昆虫呼吸的研究中,LI-6262分析仪(LI-COR, USA)的应用较为广泛(Hadley, 1994b; Quinlan and Lighton, 1999; Davis et al., 1999; Duncan et al., 2002a, 2002b; Steven et al., 2003),其灵敏度小于0.1 ppm。LI-6400光合分析仪首次应用于测定粉虱的呼吸代谢(Salvucci and Crafts-Brandner, 2000),其与LI-6262的原理相同,测量数据稳定,灵敏度小于0.1 ppm。随气体测量仪灵

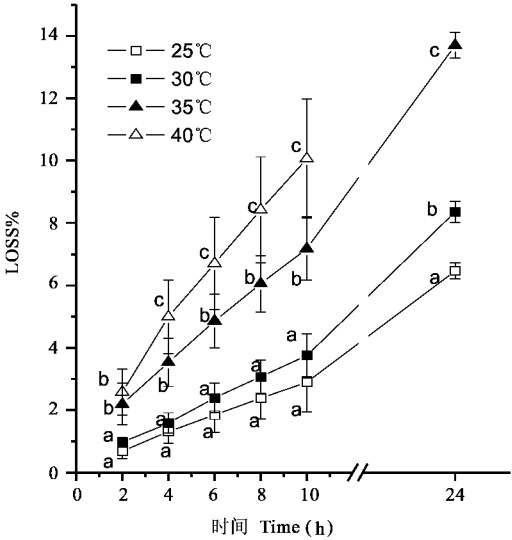


图2 不同温度条件下天花吉丁虫水分损失率变化比较图

Fig. 2 Comparison of water-loss rates of *Julodis variolaris* at different temperature

不同字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著

Different letters means significant difference at  $P < 0.05$  level.

敏度的提高,对昆虫呼吸代谢的研究将逐步深入地进行研究。

DGC 是昆虫节水的一种有效方式,昆虫呼吸失水一般占整个水分损失的 5% ~ 12%,是水分平衡的重要组成(Hadley, 1994b; Quinlan and Lighton, 1999; Steven *et al.*, 2003)。天花吉丁虫在 DGC 过程中气孔关闭阶段占整个循环周期的 80%,能有效地减少水分散失,这可能有利于适应高温干旱环境。本实验中没有实际监测呼吸水的散失量,今后将确定呼吸与呼吸失水的关系,这将更明确地阐明 DGC 对荒漠昆虫节水机制的作用。

升温是昆虫脱水的重要因子(Bedick *et al.*, 2006)。在相同的脱水时间内,随温度增加,水分散失率明显增加;在 10 h 的脱水过程中,天花吉丁虫 25℃、30℃ 之间没有显著性的差异,但与 35℃、40℃ 存在显著性差异;在同一温度条件下,脱水时间增加,将显著性增加水分散失。在 40℃ 的高温处理条件下,天花吉丁虫在 10 ~ 24 h 种群基本上全部死亡。在干旱荒漠地区,大气干燥(40% ~ 50%),地表很难发现稳定的水源,单食性天花吉丁虫水分来源主要是耐旱植物梭梭;而梭梭自由水含量只有 16%,束缚水与自由水的比值是 3.5(周培之等, 1988),所以天花吉丁虫水分获得是比较艰难的。在夏天高温环境下,天花吉丁虫水分散失增加,为实现水分平衡,其取食量也随着增加,对荒漠地区优势

种梭梭危害也增强。研究表明:天花吉丁虫的体内含水率为  $66.33\% \pm 0.85\%$ ,但缺乏昆虫体内束缚水和自由水数据,在以后的研究中,关注梭梭水分代谢自由水/束缚水与昆虫体内不同水分形态之间的关系。

研究单食性天花吉丁虫的水分代谢,对揭示荒漠地区动物适应干旱环境的机理,明确荒漠地区植物-动物的进化关系及其土壤-植物-动物水分过程具有重要意义。

**致谢** 感谢中国科学院动物研究所梁宏斌老师在论文撰写过程中所给予的宝贵意见。

参 考 文 献 (References)

Bartholomew GA, Lighton JRB, Louw GN, 1985. Energetics of locomotion and patterns of respiration in tenebrionid beetles from the Namib Desert. *J. Comp. Physiol. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 155: 155 – 162.

Bedick JC, Hoback WW, Albrecht MC, 2006. High water-loss rates and rapid dehydration in the burying beetle, *Nicrophorus marginatus*. *Physiological Entomology*, 31(1): 23 – 29.

Cloudsey-Thompson JL, 1988. Evolution and Adaptation of Terrestrial Arthropods. Springer-Verlag, Germany.

Davis ALV, Chown SL, Scholtz CH, 1999. Discontinuous gas-exchange cycles in *Scarabaeus* dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae): mass scaling and temperature dependence. *Physiol. Biochem. Zool.*, 72(5): 555 – 565.

Duncan FD, Byrne MJ, 2002. Respiratory airflow in a wingless dung beetle. *J. Exp. Biol.*, 205(16): 2 489 – 2 497.

Duncan FD, Dick CR, 2001. Respiratory patterns and metabolism in tenebrionid and carabid beetles from the Simpson Desert, Australia. *Oecologia*, 129: 509 – 517.

Duncan FD, Krasnov B, McMaster M, 2002a. Metabolic rate and respiratory gas-exchange patterns in tenebrionid beetles from the Negev Highlands, Israel. *J. Exp. Biol.*, 205(6): 791 – 798.

Duncan FD, Krasnov B, McMaster M, 2002b. Novel case of a tenebrionid beetle using discontinuous gas exchange cycle when dehydrated. *Physiological Entomology*, 27: 79 – 83.

Edney EB, 1977. Water Balance in Land Arthropods. Springer-Verlag, Germany.

Ge F, 1991. Factors of effects on respiratory metabolism in insects. *Entomological Knowledge*, 28(5): 319 – 321. [戈峰, 1991. 影响昆虫呼吸代谢的因素. 昆虫知识, 28(5): 319 – 321]

Hadley NF, 1994a. Water Relations of the Terrestrial Arthropods. Academic Press Inc, UK.

Hadley NF, 1994b. Ventilatory patterns and respiratory transpiration in adult terrestrial insects. *Physiol. Zool.*, 67: 175 – 189.

Huang RX, 2005. The Fauna of the Deserts of Xinjiang and Its Formation and Evolution. Xinjiang Science and Technology Publishing House, Urumqi. 87. [黄人鑫, 2005. 新疆荒漠昆虫区系及其行程与演

变. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社. 87 ]

Lighton JRB , 1991. Ventilation in Namib Desert tenebrionid beetles : mass scaling and evidence of a novel quantized flutter phase. *J. Exp. Biol.* , 159 : 249 – 268.

Quinlan MC , Lighton JRB , 1999. Respiratory physiology and water relation of three species of *Pogonomyrmex* harvester ants ( Hymenoptera : Formicidae ). *Physiological Entomology* , 24 : 293 – 302.

Salvucci ME , Crafts-Brandner SJ , 2000. Effects of temperature and dietary sucrose concentration on respiration in the silverleaf whitefly , *Bemisia argentifolii* . *Journal of Insect Physiology* , 46 : 1 461 – 1 467.

Steven L , Chown L , Adrian L , Davis V , 2003. Discontinuous gas exchange and the significance of respiratory water loss in scarabaeine beetles. *The Journal of Experimental Biology* , 206 : 3 547 – 3 556.

Zhou PZ , Hou CX , Chen SM , 1988. Some physiology and biochemistry particularity of super-xerophyte *Haloxylon ammodendron* under water stress. *Arid Zone Research* ,( 1 ): 1 – 8. [ 周培之, 侯彩霞, 陈世明, 1988. 超旱生小乔木梭梭对水分胁迫反映的某些生理生化特殊性.干旱区研究 ,( 1 ): 1 – 8 ]

( 责任编辑 : 黄玲巧 )